

## ⑫ 公開特許公報 (A) 平2-55303

⑬ Int. Cl. 5

G 02 B 6/02  
 B 23 K 26/08  
 G 02 B 6/02  
 6/10  
 6/20

識別記号

C 7036-2H  
 N 7356-4E  
 B 7036-2H  
 D 7036-2H  
 Z 7036-2H

⑭ 公開 平成2年(1990)2月23日

審査請求 未請求 請求項の数 5 (全6頁)

⑮ 発明の名称 中空光導波路及びその製造方法

⑯ 特願 昭63-206432

⑰ 出願 昭63(1988)8月22日

⑮ 発明者 諸沢 健一 茨城県日立市日高町5丁目1番1号 日立電線株式会社電線研究所内  
 ⑮ 発明者 本郷 晃史 茨城県日立市日高町5丁目1番1号 日立電線株式会社電線研究所内  
 ⑮ 発明者 塩田 恒夫 茨城県日立市日高町5丁目1番1号 日立電線株式会社電線研究所内  
 ⑮ 出願人 日立電線株式会社 東京都千代田区丸の内2丁目1番2号  
 ⑮ 代理人 弁理士 絹谷 信雄

## 明細書

## 1. 発明の名称

中空光導波路及びその製造方法

## 2. 特許請求の範囲

1. 外部金属層の内側に誘電体薄膜を形成してなる中空導波路において、少なくとも前記中空導波路の片端部が広がり角

$$2\theta = 2\lambda / Ka\pi \quad (0.4 \leq K \leq 0.65)$$

但し、 $2a \cdots$  中空導波路の内径  
 $\lambda \cdots$  レーザビームの波長  
 のテーパ状開口を有してなることを特徴とする中空導波路。

2. 外部金属層の内側に誘電体薄膜を形成してなる中空導波路の製造方法において、少なくとも片端部外周に広がり角

$$2\theta = 2\lambda / Ka\pi \quad (0.4 \leq K \leq 0.65)$$

但し、 $2a \cdots$  中空導波路の内径  
 $\lambda \cdots$  レーザビームの波長  
 のテーパ面を形成してなる成型母材パイプの外側に誘電体薄膜を設け、さらにその外側に

外部金属層を形成した後、上記母材パイプをエッチング除去することを特徴とする中空導波路の製造方法。

3. 前記成形母材パイプは、前記広がり角 $2\theta$ のテーパ面を有する円錐体を、加熱した母材パイプ端部に押しあてて成型したものである請求項2記載の中空導波路の製造方法。

4. 前記成形母材パイプは、母材パイプの端部をめっき浴に浸漬し引上げるに際し、その引上げ速度を徐々に遅くすることにより、前記広がり角 $2\theta$ のテーパ面を有するめっき層を形成したものである請求項2記載の中空導波路の製造方法。

5. 前記成形母材パイプは、母材パイプの端部をめっき浴に浸漬し引上げる動作を繰返すに際し、その浸漬領域を徐々に先端部に制限することにより、前記広がり角 $2\theta$ のテーパ面を有するめっき層を形成したものである請求項2記載の中空導波路の製造方法。

## 3. 発明の詳細な説明

## 〔産業上の利用分野〕

本発明はCO<sub>2</sub>レーザなどの光パワーを伝送する中空導波路とその製造方法に関わるものである。

## 〔従来の技術〕

高い効率で大出力を得ることのできるCO<sub>2</sub>レーザは加工用、医療用に主として利用され始め、また同位体分離や気体濃度計測等にも応用範囲が広がろうとしている。しかし低損失で可搬性をもった石英系光ファイバを利用できるYAGレーザに比べ、波長10.6μmのCO<sub>2</sub>レーザの場合、低損失可搬性導波路が入手できないため、応用上大きな障害となっており、その実現が待たれて久しい。現在その候補として最も有望視されているのが金属パイプ内面に、10.6μmの波長帯で低損失なGe、ZnSe等の誘電体材料をコーティングすることで金属パイプ内面の反射率を高め、中空パイプ内部にレーザエネルギーを閉じ込めて伝送する誘電体内装金属中空導波路であ

る。

以下その導波路の製造方法を説明する。

母材パイプは軸方向に一様な外径を有しており、その材料はAlまたはポリイミドが使用される。Alの場合その外表面を例えばダイヤモンドベースト等を用いて鏡面化する必要がある。この母材パイプの外表面に約0.5μmの厚さのGeあるいは約0.8μm厚さのZnSeを高周波マグネットロンスパッタリング法により形成する。この誘電体薄膜の外表面にAg、Cu、Au等の金属薄膜を形成する。その厚さは波長10.6μmにおけるキンデブス以上であり、約300Å以上であれば充分である。次にこの金属薄膜表面に例えばワット浴またはスルファミン酸浴の光沢めっきによってNi層を形成する。その厚さは機械的強度から定められるが約100μmから200μm程度である。最後に母材パイプをエッティング除去して誘電体内装金属中空導波路が製造される。エッティング液にはAlの場合約10%程度のNaOH溶液を、またポリイミドの場合にはヒドライジンとエチレンジアミンの混合液を使用する。

このように、従来、誘電体内装金属円形中空導波路の作製には母材パイプの回りに誘電体および金属層を形成して、最後に母材パイプをエッティング等で除去する「外づけ法」が用いられていた。そして、母材パイプは軸方向に一様な外形をしており、従って製造した中空導波路の内形も軸方向に一様であった。

## 〔発明が解決しようとする課題〕

しかし、従来の「外づけ法」で作製した中空導波路は、導波路の内形が伝送方向に一様であるため、レーザビームと結合した時、導波路入射端ではモード閉込め(mode confinement)が空気中と異なるために結合損失が発生し、入射端付近の集中的な発熱温度上昇を引き起こしていた。特に大パワーの伝送においては結合損失により入射端のみが破壊してしまう危険があった。

本発明の目的は前記した従来技術の問題点を解決し、入射端における結合損失による導波路の局部的な破壊をなくし、大パワー伝送可能な、光パワー伝送装置の構造とその製造方法を提供すること

にある。

## 〔課題を解決するための手段〕

本発明の中空光導波路は、外部金属層の内側に誘電体薄膜を形成してなる中空導波路において、少なくとも前記中空光導波路の片端部が広がり角

$$2\theta = 2\lambda / K a \pi \quad (0.4 \leq K \leq 0.65)$$

但し、2a…中空光導波路の内径

$\lambda$ …レーザビームの波長  
のテープ状開口を有してなるものである。

その製造方法としては、少なくとも外部金属層の内側に誘電体薄膜を形成してなる中空光導波路の製造方法において、少なくとも片端部外周に広がり角

$$2\theta = 2\lambda / K a \pi \quad (0.4 \leq K \leq 0.65)$$

但し、2a…中空光導波路の内径

$\lambda$ …レーザビームの波長  
のテープ面を形成してなる成型母材パイプの外側に誘電体薄膜を設け、さらにその外側に外部金属層を形成した後、上記母材パイプをエッティング除去することによる。

その成形母材パイプ自体は、前記広がり角 $2\theta$ のテーパ面を有する円錐体を、加熱した母材パイプ端部に押しあてて成型してもよいし、母材パイプの端部をめっき浴に浸漬し引上げるに際し、その引上げ速度を徐々に遅くすることにより、前記広がり角 $2\theta$ のテーパ面を有するめっき層を形成したものであってもよい。更には、母材パイプの端部をめっき浴に浸漬し引上げる動作を繰返すに際し、その浸漬領域を徐々に先端部に制限することにより、前記広がり角 $2\theta$ のテーパ面を有するめっき層を形成したものであってもよい。

#### 【作用】

本発明の要点は、「外づけ法」による中空導波路作製において、母材パイプの片端を前述した広がり角 $2\theta = 2\lambda / K a \pi$ の円錐形状に加工したことにあり、この母材パイプを用いて製造した導波路入射端においては、 $K = 0.4 \sim 0.65$ とすることで入射レーザビームとの結合損失をほぼ最小にできるため、結合部のモード閉込め（mode confinement）が空気中の状態からきわめてゆる

持部2を有するCuの円錐針3を用いて、これを第2図に示す様に回転させながら、バーナ5で加熱したAl母材パイプ4の片端に円錐針先端を押付け、当該片端部を円錐状に成形してテーパ状開口とする。

ここで用いられる円錐針3の円錐体1の部分の形状は、成型された母材パイプ4の片端部円錐形状が、広がり角

$$2\theta = 2\lambda / K a \pi \quad (0.4 \leq K \leq 0.65)$$

但し、 $2a \cdots$ 中空導波路の内径

$\lambda \cdots$ レーザビームの波長

のテーパ状開口となるようにする。即ち、これと同じ $2\theta$ のテーパ面を持つ円錐形とする。

次いで、このようにして得られた成型母材パイプ4を用い、その外側に高周波スパッタリングによりGe誘電体膜を形成し、さらに、Niめっきを行なって金属層を形成する。次に、このAl/Ge/Niパイプを苛性ソーダに浸漬してAlのみをエッチングする。こうしてできたGe/Ni導波路は第3図に示す様に片端に円錐形状を有し、レーザビームと

やかに変化し、中空導波路入射端での結合損失の集中を防ぎ、局部的な破壊を無くして、大パワー伝送を可能にしたものである。

母材パイプとしては、Al、Cu、Niおよびポリイミド、ガラス等を用いる。これに対し、成型のための円錐体の材料としては、母材を加熱しながらでも円錐体の変形を生じる恐れの無いように、母材よりも融点の高いものが望ましい。例えば母材にAlパイプ（融点660℃）を用いた時は、円錐体にはCu（融点1080℃）、Ag（融点960℃）、Ni（融点1455℃）等を用いることができる。

誘電体薄膜にはGe、ZnSe、ZnS等を用い金属層にはNi、Ag、Cu等を用いる。誘電体薄膜はスパッタリングやめっき成いはCVD法によって形成することができる。

#### 【実施例】

以下、図示の実施例について説明する。

#### 実施例1

母材パイプにAlを用いてGe/Ni中空導波路を作製する場合、第1図に示した様な円錐体1及び支

の結合において、結合損失が入射端近傍に集中することなく、大パワー伝送が可能となる。

一般に、円形の中空導波路に励振される夫々のモードの励振効率は、導波路半径 $a$ と導波路入射端のレーザビームのスポットサイズ $w$ との比 $w/a$ によって大きく異なる。第5図には横方向に軸ずれがなくガウスビームを入射した時の円形の中空導波路に励振されるHE<sub>11</sub>モードの励振効率が示されている。同図から明らかのように、一般に円形の中空導波路のHE<sub>11</sub>モードのうち最も低損失なモードはHE<sub>11</sub>モードであり、このモードは $w/a = 0.64$ のとき最大効率で励振される。従って出射ビームをガウス分布にしたい時、或いは充分長い導波路でHE<sub>11</sub>モード以外のモードは減衰してしまうような導波路では、 $w/a = 0.64$ を満足するように入射すればよい。しかしながら大電力伝送を目的とした導波路のように、比較的短尺な導波路或いは高次モードでも低損失である導波路では、 $w/a = 0.64$ よりも小さいビーム径で入射させた方が中空領域外にはみ出すパワーが

少なくなるので、全パワーの伝送容量が大きくなる。

このように導波路の寸法、損失によって入射ビームのビーム径は  $w/a = 0.64$  以下既して  $0.4 \sim 0.65$  の範囲で最適となるようにしなければならない。更に、効率効率を最大にするにはレンズ通過後の光ビームのビームウエスト、即ちスポットサイズが最小値となる部分の位置に、導波路入射端がくるようにしなければならない。

上記実施例ではパイプを加熱したが、母材パイプを成形する際に、パイプを加熱せず円錐針を加熱しても同様な導波路を得ることができる。

母材パイプの円錐形状の作成方法としては、前述した以外にもめっき、鍛造、溶射、切削等がある。

#### 実施例 2

第4図はめっきによる例であり、10はCr電極、11は浴槽、12は電解液を示す。実施例1の円錐針を用いずにAlの母材パイプ14の片端をシール材13で閉塞して浴槽11内の電解液(め

っき浴)12に浸漬し、母材パイプ14を連結具15を介して、試料上下動用の滑車9により引き上げながら、かつ引上げ速度を徐々に遅くして片端に20の円錐形にCrめっきし、円錐部8を形成する。その際に、母材パイプ片端の浸漬と引き上げを繰返し、かつ浸漬領域を徐々に端部に制限することにより円錐形状にする。以下、これを成型母材パイプとして同様に加工すれば実施例1と同様な特性の中空導波路を得ることができる。

上記実施例1及び2では母材パイプの片端のみを成型したが、片端のみでなく両端を円錐形にすれば入射ビームをどちらから結合しても結合損失の小さな(双方向低結合損失)中空導波路を得ることができる。

第6図は、入射ビームのビーム径を  $w/a = 0.4 \sim 0.65$  の範囲で最適化させる装置例を示したもので、便宜上、光導波路の端部のテバ状態は省略してある。中空導波路21にレーザ光源22から出射したレーザビームを入射させる少なくともレンズを使用したレーザビーム入射光学系で、

レンズ  $l_1$  は、その焦点距離  $f_3$  だけ中空導波路入射端よりレーザ光源22側に固定されている。レンズ  $l_1$  よりレーザ光源22側に配置したレンズ  $l_2$  とこのレンズ  $l_2$  より更にレーザ光源22側に配置したレンズ  $l_3$  とはパルスモータ3の移動台によって位置を可変し得る。レンズ  $l_1$ 、 $l_2$  をレンズ  $l_1$  に入射するレーザビームのビームウエストとレンズ  $l_1$  との距離  $l_{12}$  の変化に応じ、

$$l_{12} = \frac{(f_1 + f_2) l_1 - f_1 f_2}{l_1 - f_1}$$

$$l_{12} = \frac{f_2 (f_2 l_1 - f_1 f_2 + f_1)}{l_1^2} + f_3$$

但し、 $l_{12}$  はレンズ  $l_1$ 、 $l_2$  間の距離、

$l_{12}$  はレンズ  $l_2$ 、 $l_3$  との距離、

$f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$  はレンズ  $l_1$ 、 $l_2$ 、 $l_3$  の焦点距離。

の関係を保つように光軸方向に自動的に移動するようとする。即ち、入射ビームのビーム径が最適ビーム径よりずれている場合には距離  $l_{12}$  を変化

させる。これはレーザ光源22を移動するか、或いは中空導波路21及び入射光学系全体を移動させるか、或いはレンズ  $l_1$  のレーザ光源22側に適当なレンズを新たに挿入し、レンズ  $l_1$  に入射するレーザビームウエストの位置を変化させてもよい。しかしこの時も常に上式を満足しなければならず、 $l_{12}$  の変化に応じてパルスモータ3を駆動し、レンズ  $l_1$ 、 $l_2$  の位置を変化させる。そして中空導波路21の入射端のレーザビームのスポットサイズが中空導波路21の導波路半径の  $0.4 \sim 0.65$  倍になるように、ビーム径を可変する。

このようにすることにより入射ビームのスポットサイズを広範囲にわたって任意に変換できる。このため中空導波路21に入射するビームのスポットサイズを最適化し、効率のよい効率が可能となり、特に大電力伝送用導波路においても入射端の熱的損傷を抑えることができる。

#### 【発明の効果】

以上述べたように本発明によれば、中空導波路で光パワーを伝送する際の、結合部での局部的な

温度上昇とそれに伴う導波路の破損を防ぎ、大パワーを安定に伝送することが可能となる。即ち、母材パイプの入射端を前述した様な入射ビームに対してゆるやかにモードコンファインメントが変化する円錐形の導波路とすることによって、結合損失の集中が避けられ、損失が導波路全体に分散するため、従来の構造で問題となつた結合損失の熱による大パワー伝送時の入射端の破損が抑制される。

#### 4. 図面の簡単な説明

第1図は母材パイプ端部の成型に用いる円錐針の側面図、第2図は円錐針を用いて母材パイプ端部を成形する工程の断面図、第3図は本発明により製造した中空導波路を一部断面にて示した斜視図、第4図は母材端部にめっきを施して円錐形状に形成する場合の概略図、第5図は中空導波路に入射するHE11モードの励振効率を示す図、第6図はレーザビーム入射光学系を例示した図である。

図中、1はCu円錐体、2は支持部、3は円錐

針、4は母材Alパイプ、5はバーナ、6はNi金属層、7はGe誘電体層、8はCrめっきにより形成した円錐部、9は試料上下動用かっ車、10はCr電極、11は浴槽、12は電解液、13はシール材、

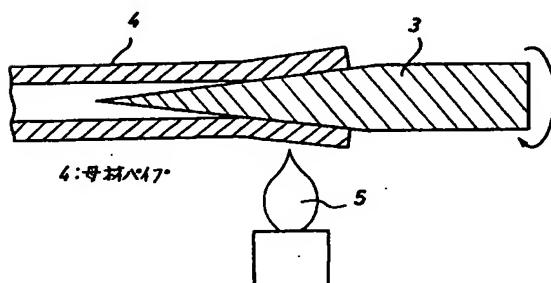
14は母材Alパイプ、15は連結具である。

特許出願人 日立電線株式会社  
代理人弁理士 紺谷信謙

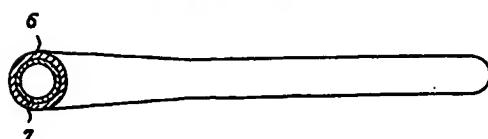


第1図

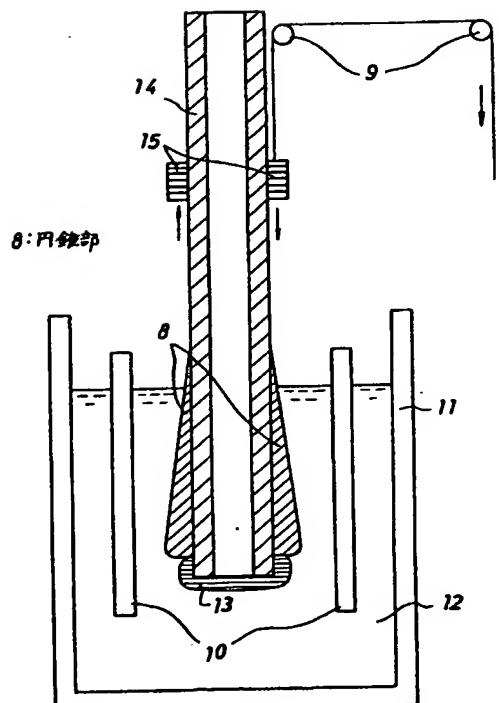
1:円錐体  
2:支持部  
3:円錐針



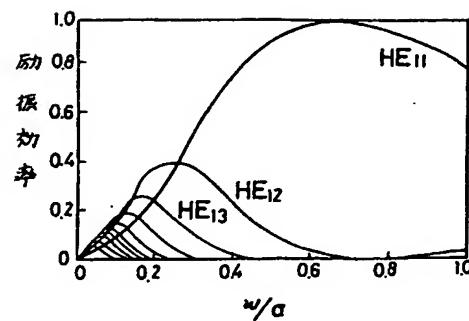
第2図



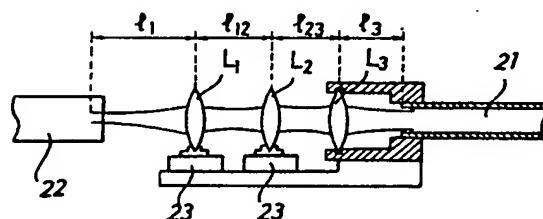
第3図



第4図



第5図



第6図